

Modellierung historischer Börsenstrompreisen

Einfluss der konventionellen Kraftwerksmodellierung



Knowledge for Tomorrow



Agenda

1. Motivation und Forschungsfragen
2. Methodik
3. Ergebnisse
 - i. Einfluss der Modellierungsmethodik
 - ii. Einfluss des tech. Detaillierungsgrades
4. Zusammenfassung & Ausblick



Motivation und Forschungsfragen

„**Warum** sollte man historische EEX-Preise nachbilden, resp. modellgestützt konstruieren?“

„Welche **Modellkonfiguration** ist für eine ex-post Analyse des Börsenstrompreises am geeignetsten?“

„Welchen Einfluss haben **Methodik** und **Datenseite** auf das Gütemaß EEX-Preis?“

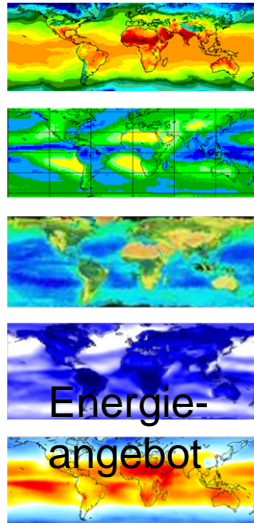


Methodik: Das Optimierungsmodell REMix

Renewable Energy Mix for sustainable electricity supply (REMix)

Input:

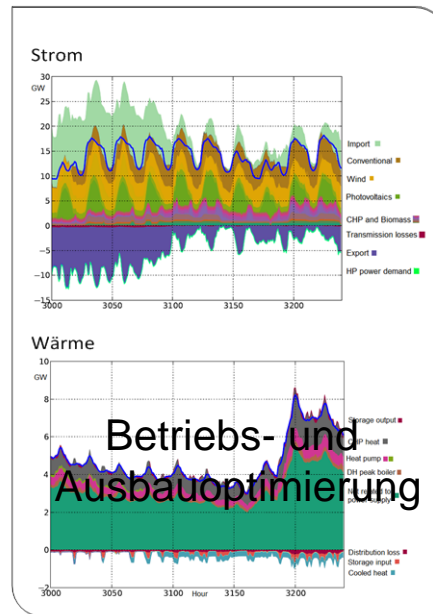
Potenzialanalyse



Energie-
angebot

Berechnung:

Energiesystem-Optimierung



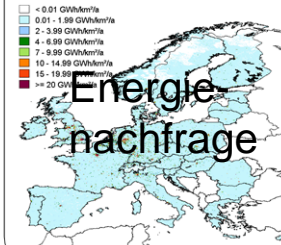
Input:

Nachfrageprofile

Strombedarf



Wärmebedarf



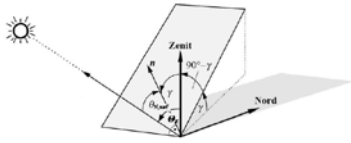
Energie-
nachfrage

! Minimiere Systemkosten

Methodik: Energiesystemoptimierung in REMix

Modellerweiterung

Photovoltaik

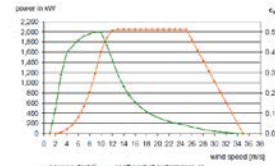


$$G_{dir,surf} = G_{dir,h} \cdot \frac{\cos \Theta_{N,surf}}{\cos \Theta_z}$$

$$G_{diff,surf} = G_{diff,h} \cdot \frac{(1 + \cos \gamma')}{2}$$

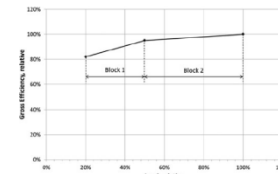
$$G_{ref,surf} = G_{glob,h} \cdot \frac{(1 - \cos \gamma') \cdot \rho^*_{surf}}{2}$$

Wind

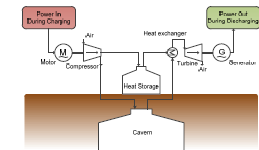


$$A_{turb}^{WIND} = \sqrt{\frac{3}{4}} (f_{dist}^{WIND} \cdot d_{rot}^{WIND})^2$$

Kraftwerke



Speicher

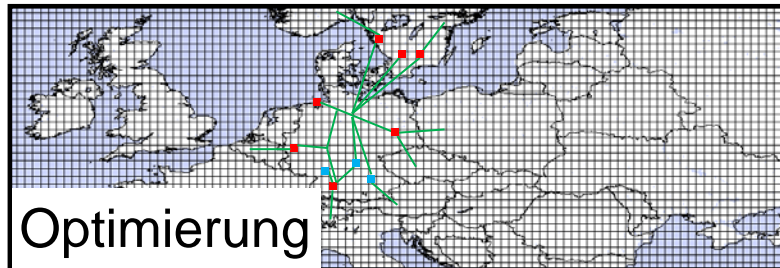


Stromnetz

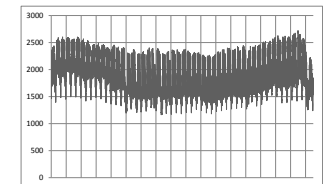


$$B'_{km} = -x_{km}^{-1}$$

$$B'_{kk} = \sum_{m \in \Omega_k} x_{km}^{-1}$$

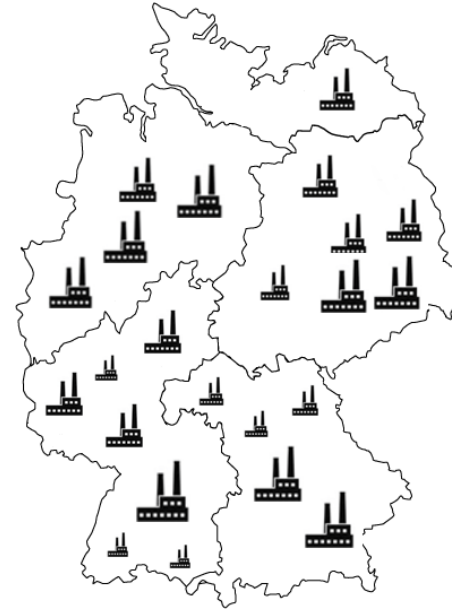
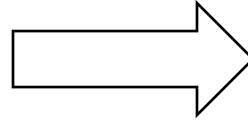
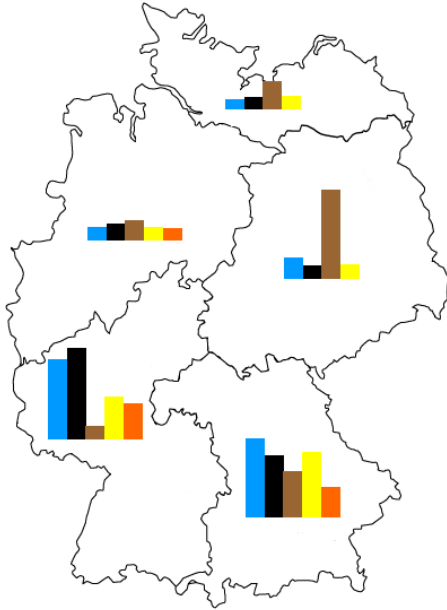


Strombedarf



Minimale volkswirtschaftliche Gesamtkosten des Energiesystems

Methodik: Modellerweiterung „konventionelle Kraftwerke“



Technologiescharf (LP)

Vereinfachte Modellierung

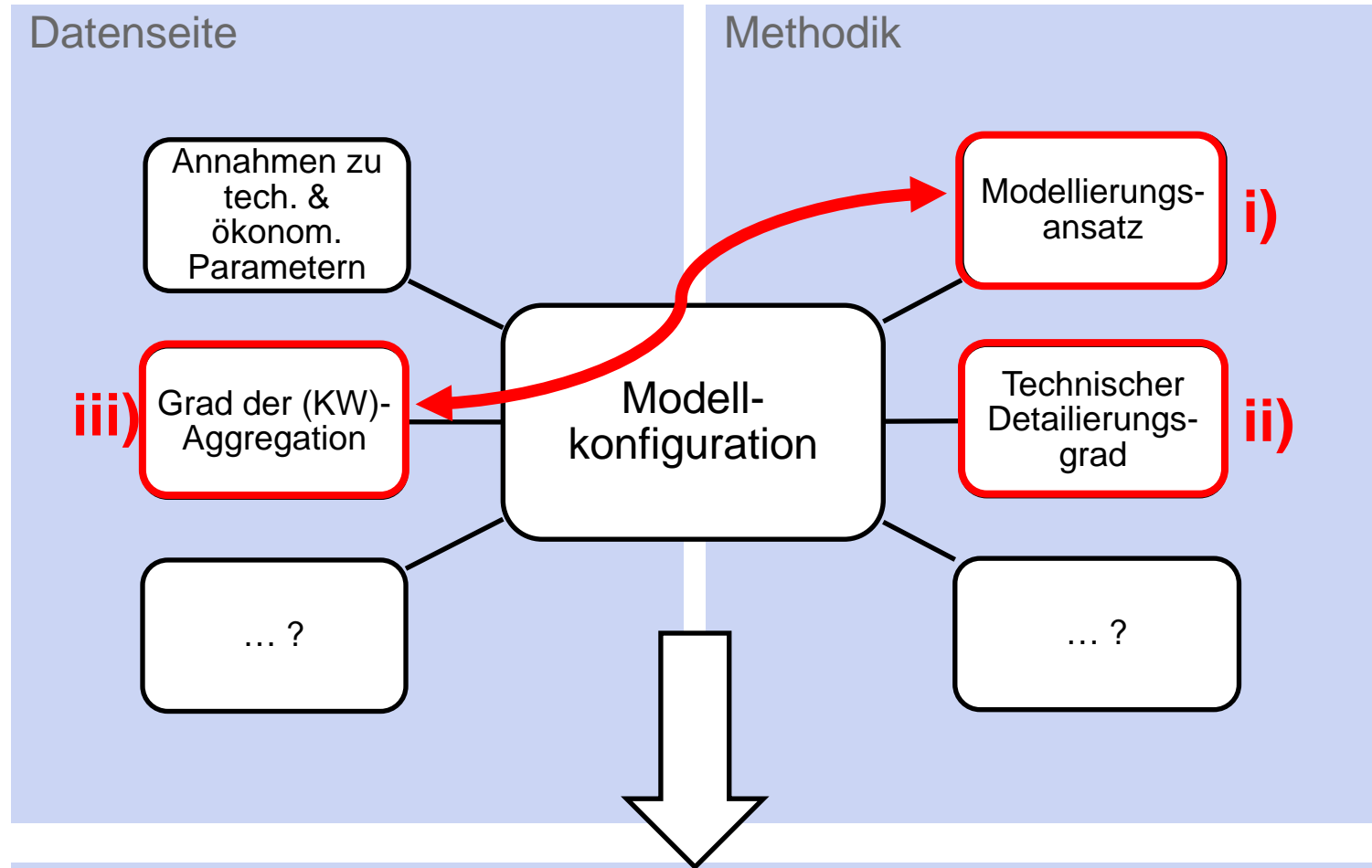
- Technologie- und Knoten-aggregierte Abbildung
- Tech. und ökonom. Parameter unterliegen Annahmen zu Preisfadentwicklungen, Lernkurven, technologischem Fortschritt (bspw. $\epsilon_{inv}/MW \downarrow$ u. $\eta \uparrow$)
- Historischer Zubau (Platts DB) und Szenariokapazitäten (Leitstudie) für Kraftwerks-dispatch
- Methode: Linear Programming (LP)

Block-/Kraftwerksscharf (MILP) *

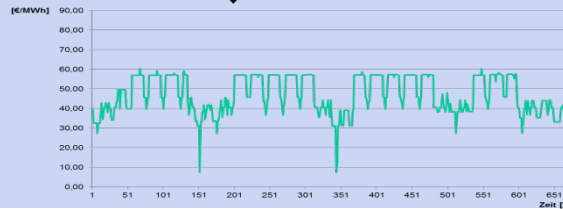
Detailliertere technische & ökonomische Abbildung

- Blockscharfe Abbildung jedes individuellen Kraftwerks
- Wirkungsgrade in Abhängigkeit von Lastzustand (Teillast), Umgebungstemperatur, (Kühlungsart)
- An- und Abfahrvorgänge resp. Kosten durch Brennstoffmehrverbrauch u. erhöhten Verschleiß
- Mindeststillstandzeiten, Differenzierung zw. Heiß-, Warm- und Kaltstart (Brennstoffmehrverbrauch beim Anfahren)
- Methode: Mixed Integer Linear Programming (MILP)

Methodik



Börsenstrompreis:



Modellkonfiguration

i) Modellierungsansatz

- einfaches vs. detailliertes Kraftwerksmodul
- resp. linear- (LP) vs. mixed integer linear programming (MILP)

ii) Technischer Detaillierungsgrad

- Anfahrvorgänge, Teillastverhalten, Mindestbetriebs- und Stillstandzeiten, Einfluss der Umgebungstemperatur auf Wirkungsgrad

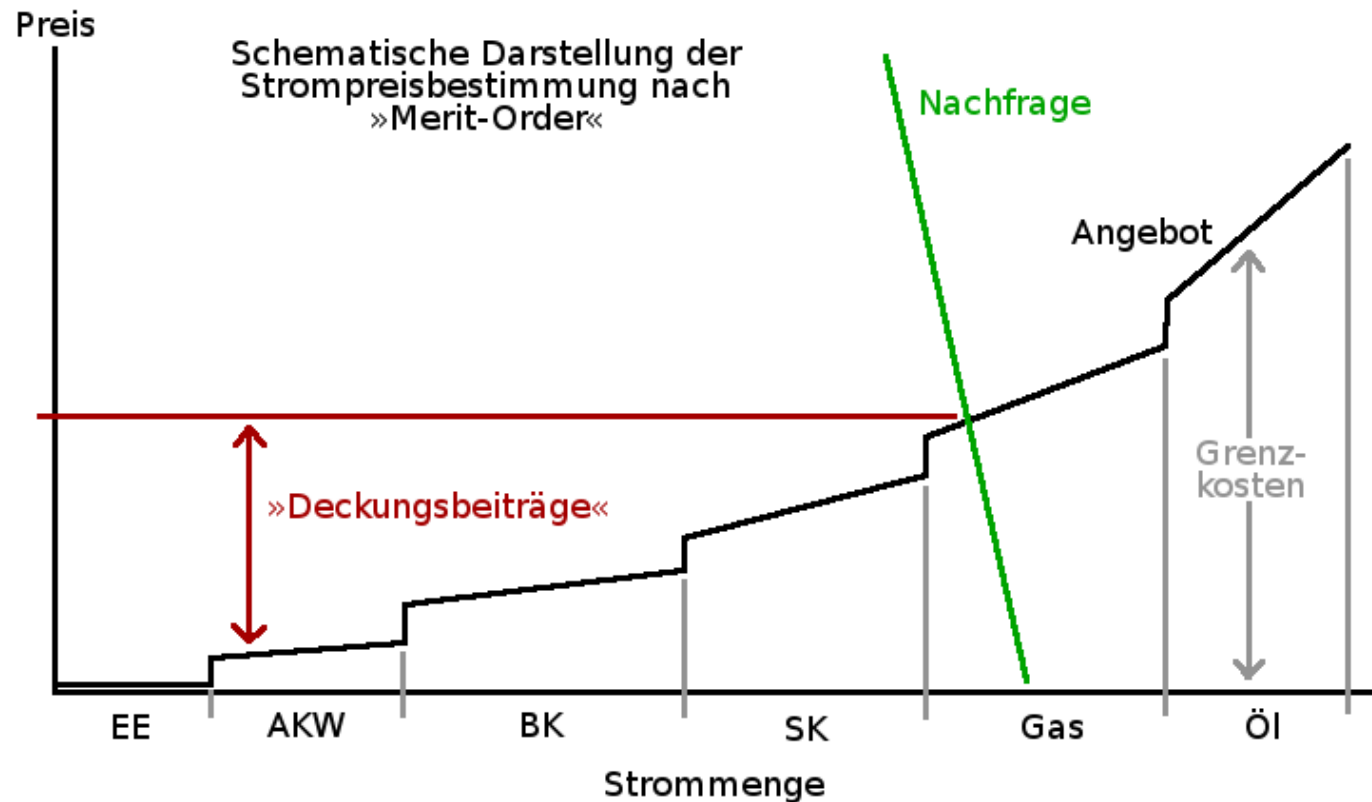
iii) Grad der Aggregation

- Kraftwerks-/Blockscharf, Technologiescharf, Technologie und Baujahr, ...

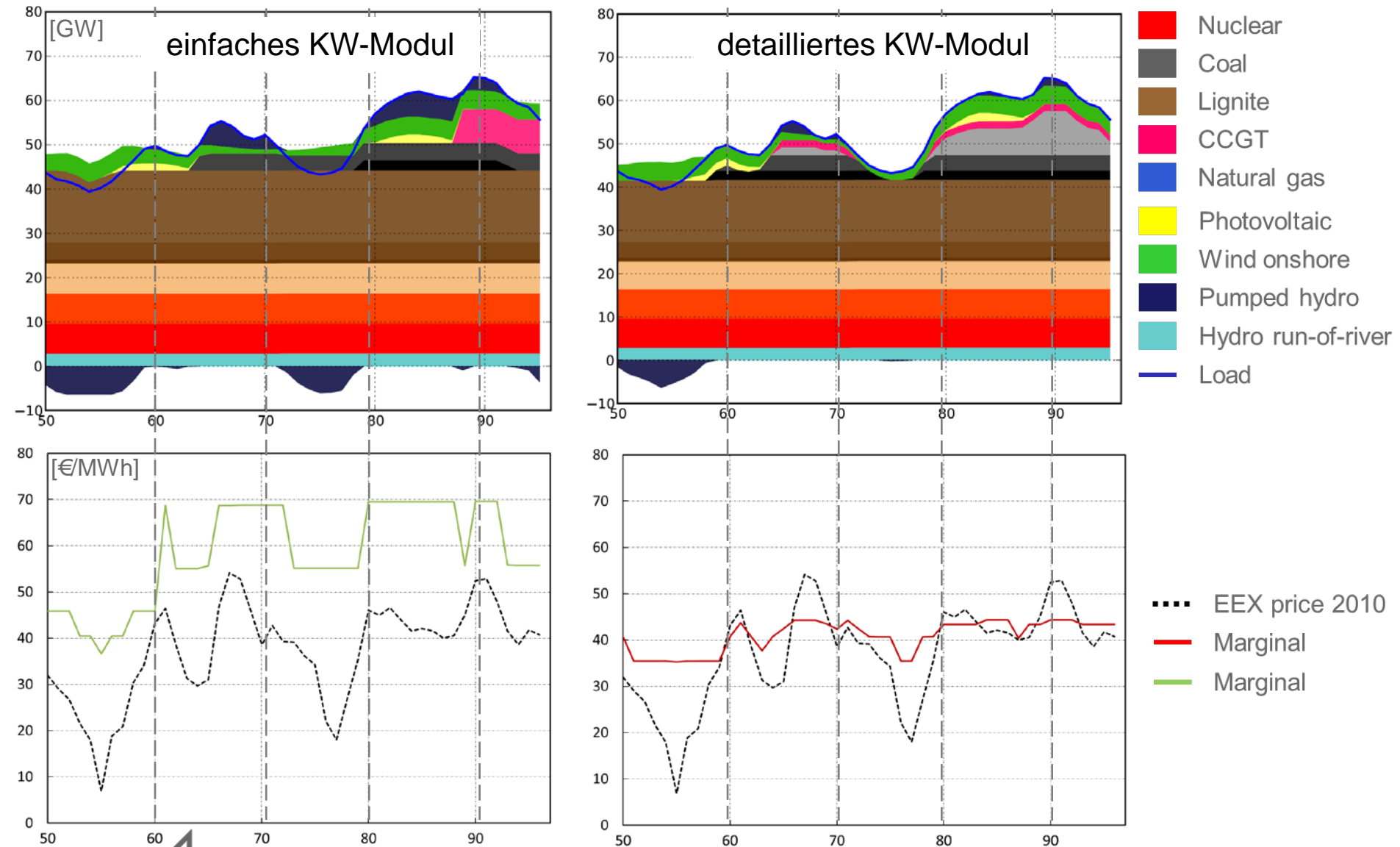


Methodik: Modellerweiterung „konventionelle Kraftwerke“

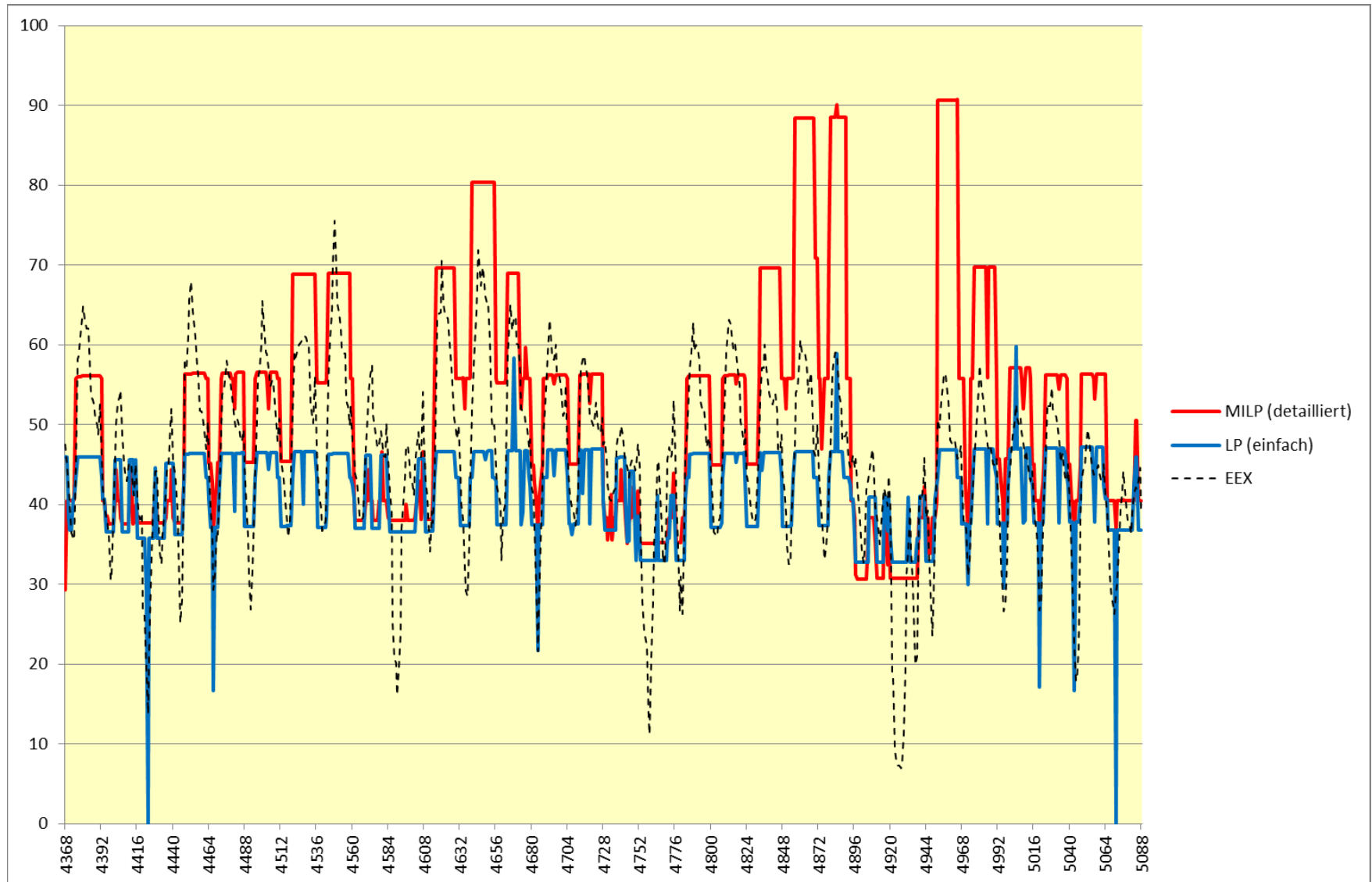
= Grenzkosten des Preis-setzenden Kraftwerks
= Brennstoffkosten + Kosten f. CO₂-Zertifikate



Ergebnisse i. : MILP- vs. LP- Kraftwerksmodell, Betriebsoptimierung



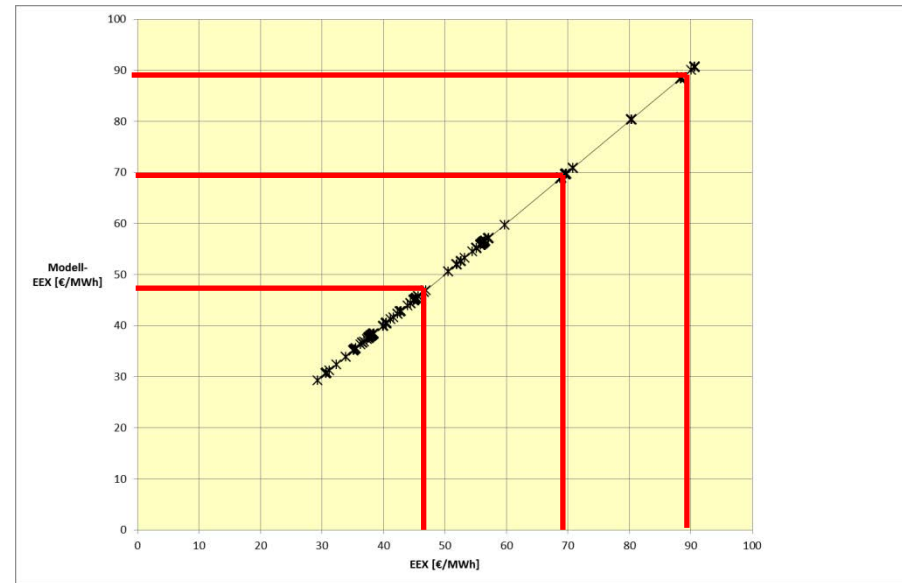
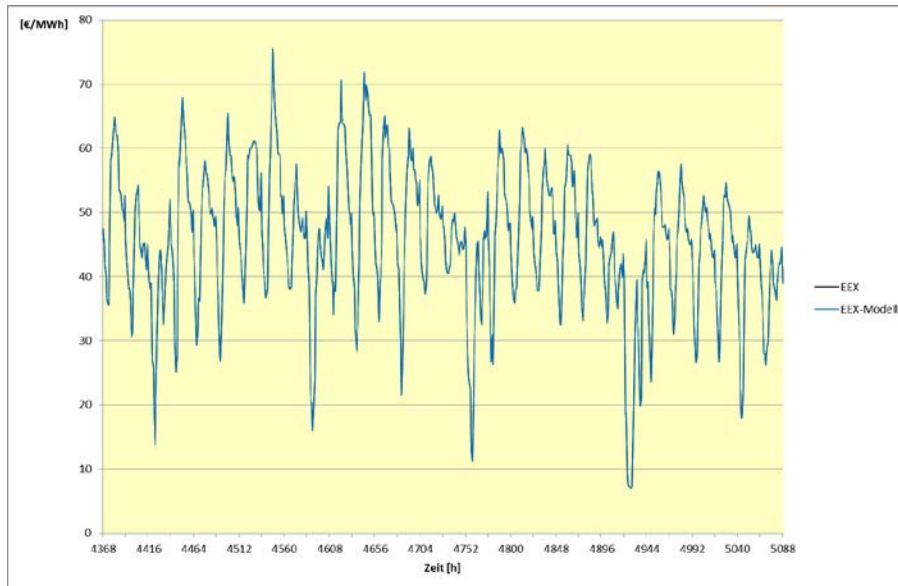
Ergebnisse i. : MILP- vs. LP- Kraftwerksmodul, Vergleich d. Preiszeitreihen



Ergebnisse i. : Zeitreihenanalyse & Korrelationen

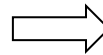
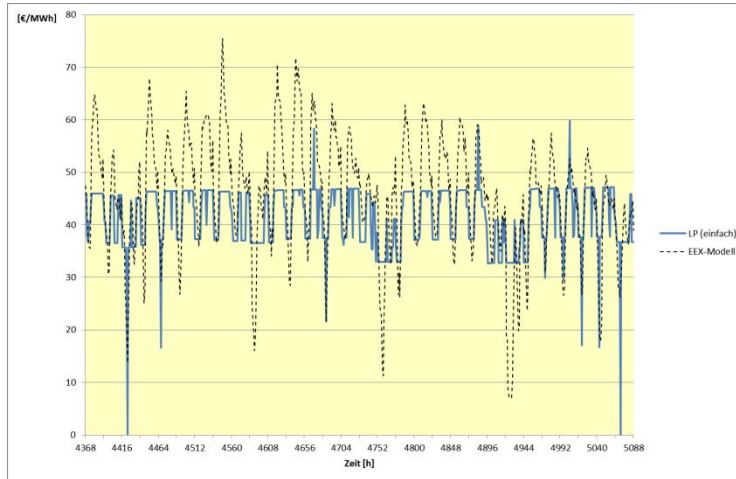
„Die ideale Modell-Welt...“

Korrelationen d. Modell-Preise zu EEX-Preisen (Modell-Kalibrierung)

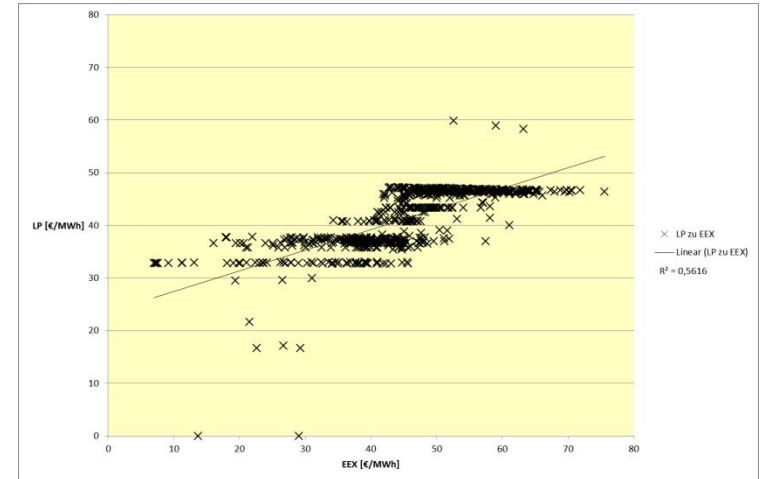


Ergebnisse i. : Zeitreihenanalyse & Korrelationen

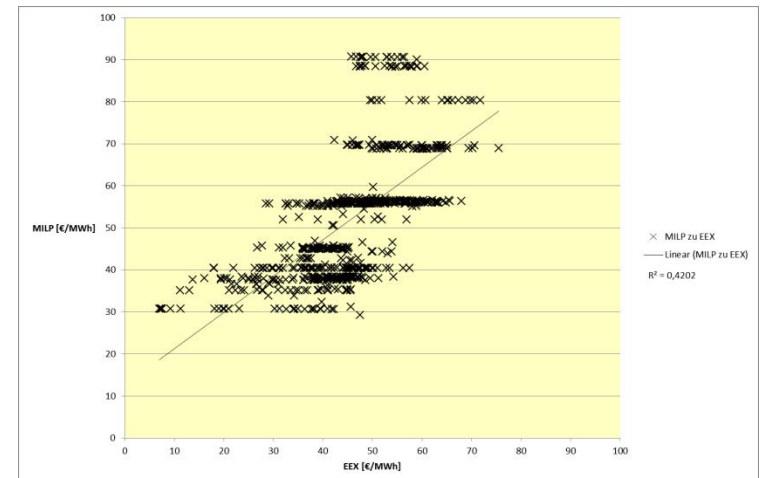
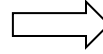
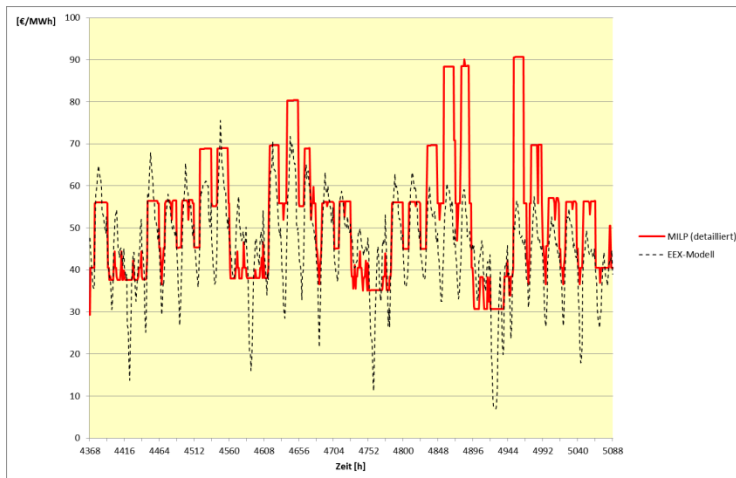
LP- einfaches Kraftwerksmodul, $R^2 = 0,48$



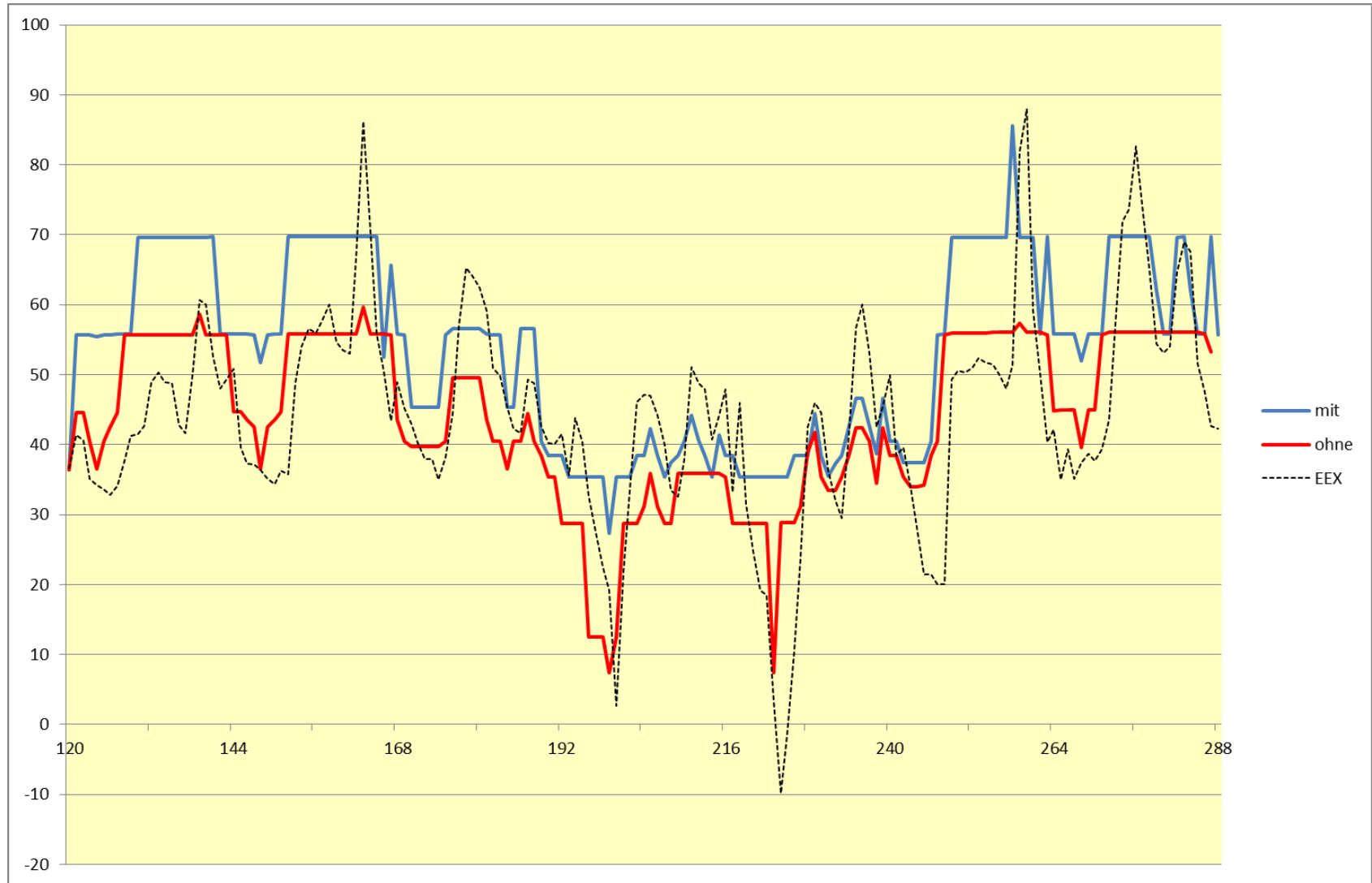
„Die Modell-Realität... „



MILP- detailliertes Kraftwerksmodul, $R^2 = 0,46$

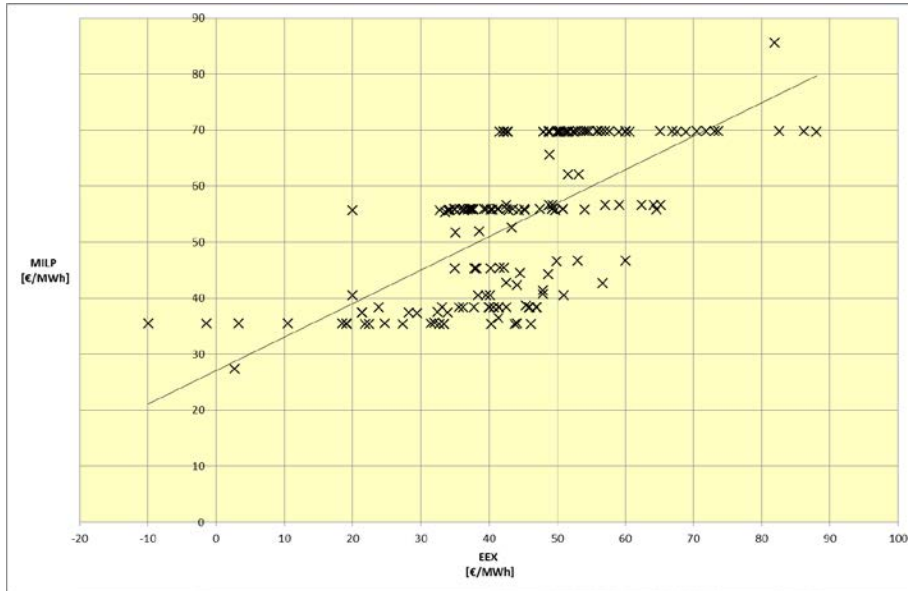


Ergebnisse ii. : Einfluss des technischen Detailierungsgrad (MILP) am Bsp. Mindestbetriebs- und Stillstandzeiten

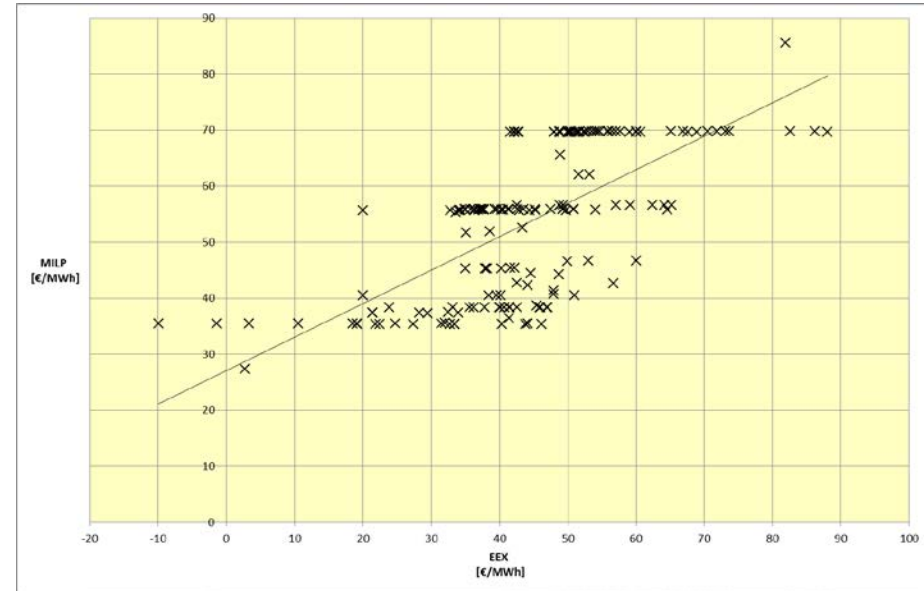


Ergebnisse ii. : Einfluss des technischen Detailierungsgrad (MILP) am Bsp. Mindestbetriebs- und Stillstandzeiten

„mit“, $R^2 = 0.45$



„ohne“, $R^2 = 0.56$



⇒ Überprüfung der Ergebnisse mit höherer Granularität hinsichtlich der KW-Klassen



Zusammenfassung & Ausblick:

- Erneute Ergebnisanalyse mit konsistenten Input-Daten (2006 bzw. 2010)
- Berücksichtigung von Import/Export-Zeitreihen
- erhöhte Anzahl von KW-Klassen im MILP-Modul
- negative Strompreise können nicht abgebildet werden
- Weitere Untersuchungsgrößen/Gütemaße:
 - Volllaststunden Konventionelle
 - CO₂-Emissionen
 - Systemkosten
 - Flexibilitätsbedarf, bspw. Speicherfüllstände, Lade-/Entladeleistungen
 - Abregelung EE
 - ... ?



Vielen Dank!

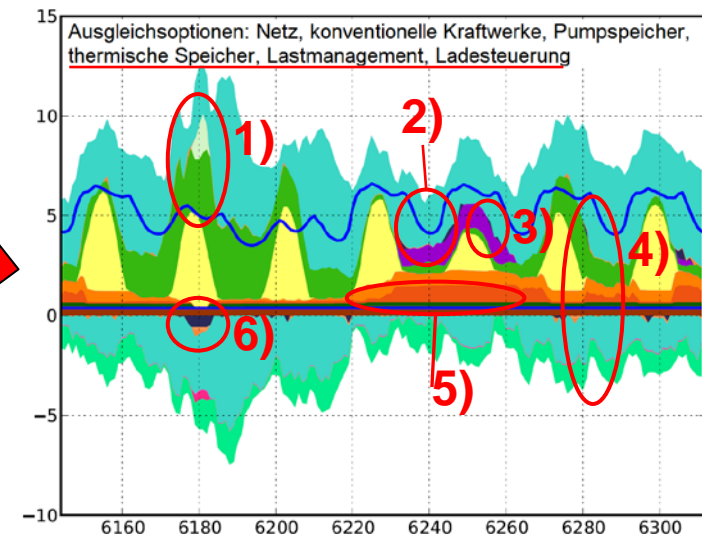
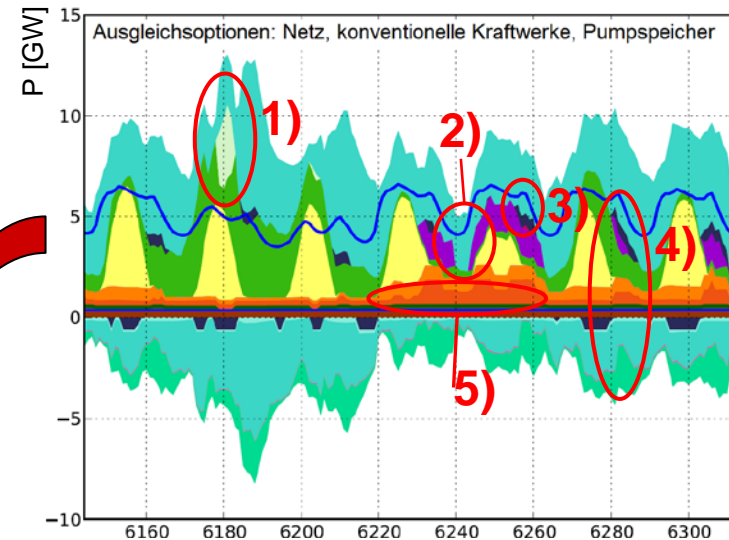
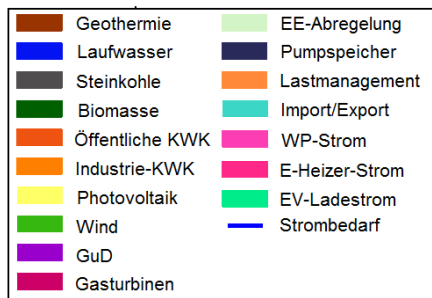
Fragen?

Knowledge for Tomorrow



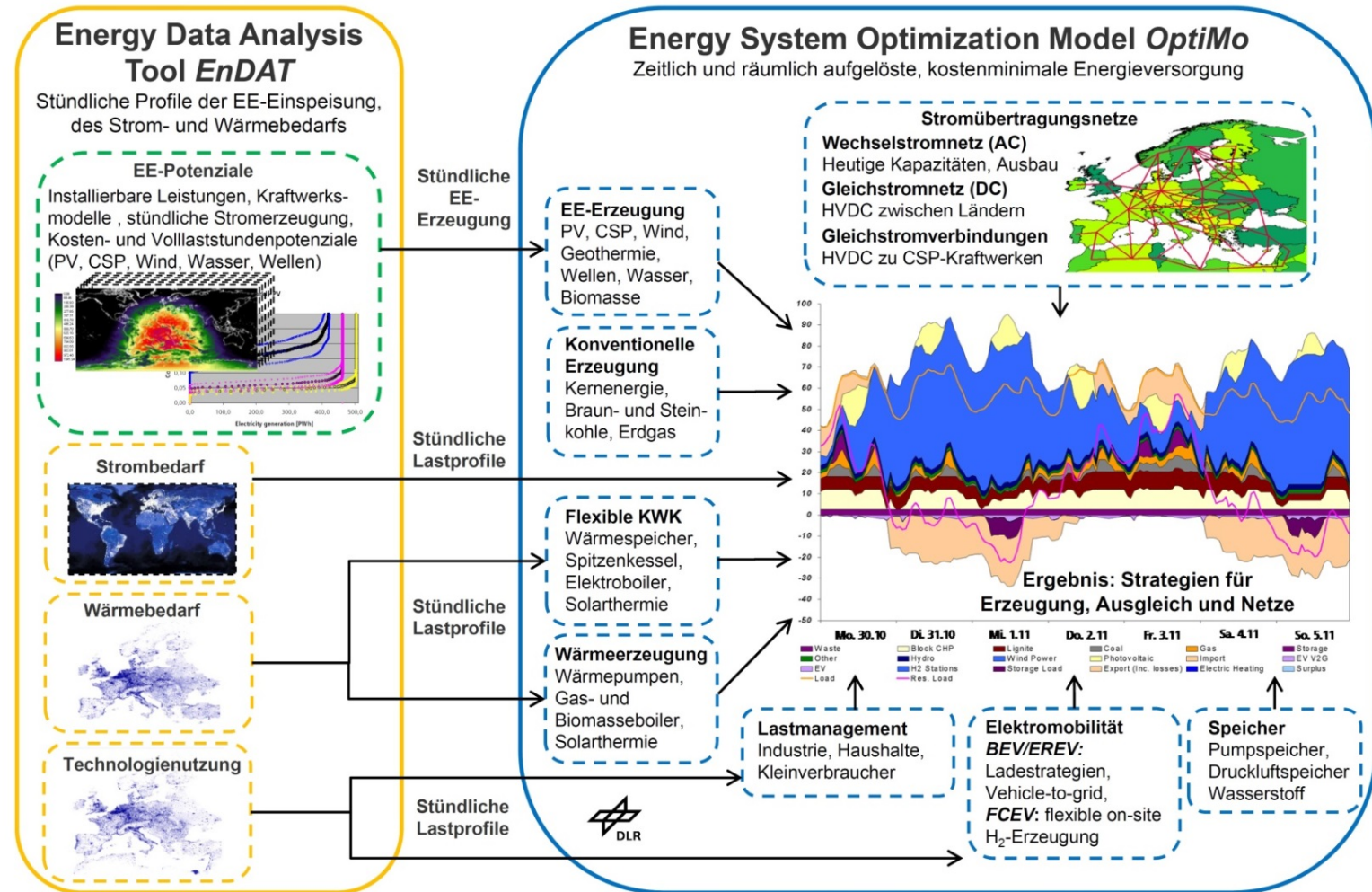
Backup: BMWi-Projekt „Lastausgleichsoptionen“

1. Abregelung der erneuerbaren Energien wird verringert
2. Verschiebung des Einsatzes konventioneller Kraftwerke
3. Vermeidung des kurzzeitigen Anfahrens konventioneller Kraftwerke
4. Ladesteuerung der E-Mobilität kann kurzzeitiges Anfahren konventioneller KW verhindern
5. Die KWK-Stromerzeugung wird bei geringer EE Einspeisung erhöht
6. Lastmanagement verringert die Abregelung der erneuerbaren Energien

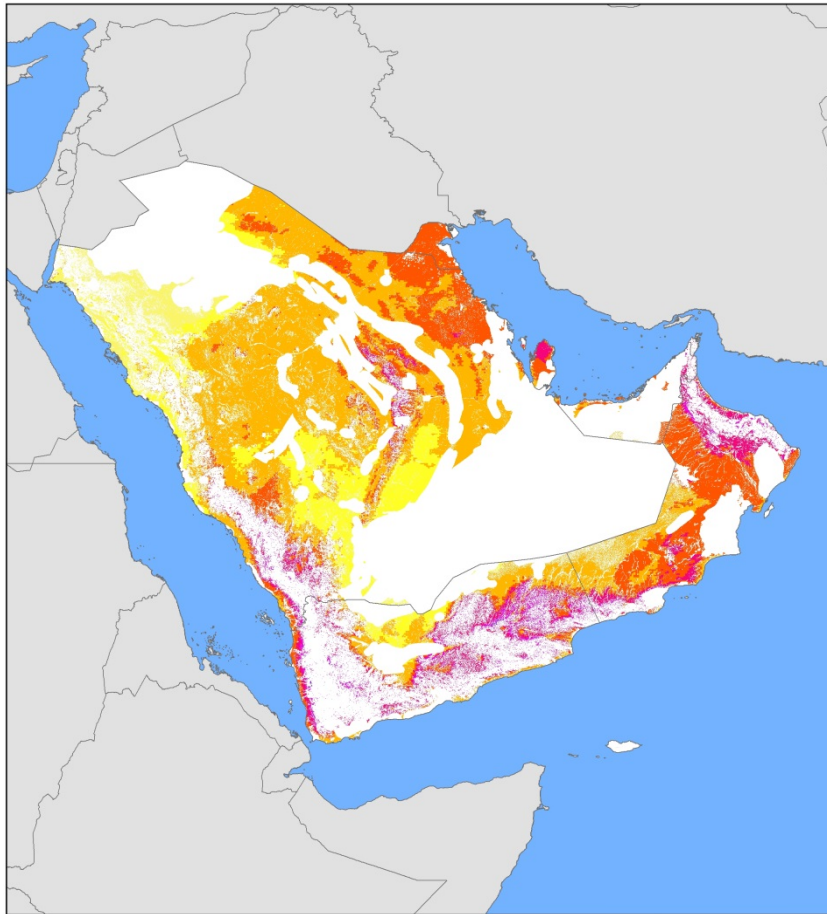


Backup: Modell

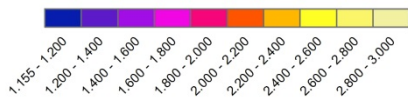
REMix (Renewable Energy Mix for sustainable electricity supply)



Backup: Potenzialanalyse



Annual sum of Direct Normal Irradiance (DNI)
for the year 2002 - at suitable areas for CSP plants



Map produced 2013

Solare Einstrahlung



Ausschluss: Schutzgebiete



Ausschluss: Geomorphologie



Ausschluss: Neigung



Gesamte Ausschlussmaske



**PV Potenzial
(Strahlungsdaten)**



Backup: Sensitivitäten Speicherbedarf

1. Different generation profiles (weather years) for the RES technologies
2. Germany: share of RES
 - a) Share wind to PV
 - b) High share of RES- the role of biomass
3. Variation of net electricity demand, resp. peak load, variation of load curves
4. Structure of energy supply system with regards to
 - a) P2G for high temperature process heat
 - b) P2G for the transport sector
 - c) e-mobility (charge/discharge control)
 - d) Power2heat: heat pumps, electricity heating
5. Spatial distribution of generation, storage and grid restrictions
 - a) Demand response
 - b) Flexible CHP
 - c) Different heat demand profiles
6. Import/Export, integration into ENTSO-E
 - a) No Import/Export: Germany as an island grid (merely an academic exercise)
 - b) Sensitivities regarding Import/Export
 - i. Installed power of grid interconnection points
 - ii. Flexibility of the European power plant fleet
7. Import of dispatchable CSP electricity



Backup: Sensitivitäten Speicherbedarf II

8. National grid expansion: identification of spatial distribution of storages
9. Dimensioning of grid interconnection points (increased installed power)
10. Spatial distribution of generation, storage and grid restrictions
11. Modelling of different RES technologies
 - a) Wind energy power plants: strong and weak wind locations
 - b) PV: east-west directions instead of south
12. Prognosis of uncertainty regarding
 - a) RES feed in
 - b) Load
13. Costs
 - a) Price paths fossil, biomass, CO₂ certificates
 - b) Investment costs storages, RES, conventionals, demand response, ...
14. Spatial resolution of the optimisation
15. Flexibility options
 - a) Flexibility of the existing conventional power plants
 - i. Ramp up and ramp down, part load behaviour, minimum idle times
 - ii. Demand for conventional must-run capacities (CHP, ancillary services)
 - b) Demand response
 - c) Flexible CHP
 - d) Different heat demand profiles
16. ...



Backup: KW-Modellierung in REMix

- Historical power plants installation based on *Platts database*
- Allows to assess how much capacity will be available considering the power plant lifetime (e.g. 30a in right-hand figure)
- Learning curves affect technical- and cost parameters of the power plant cohort

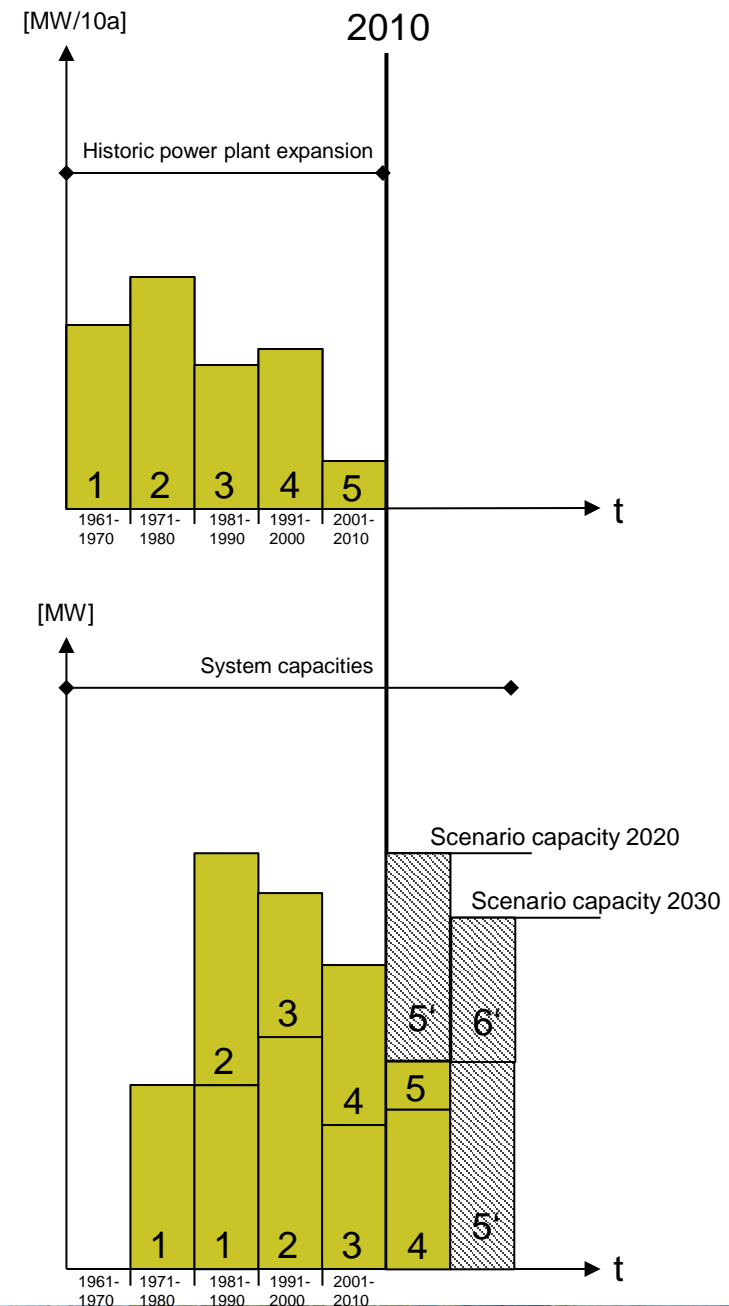
2 Conceptual approaches for future scenario capacity

a) Scenario Validation (Dispatch Optimization):

! Test the reliability of the power supply on an hourly scale and find the least cost operation strategies

b) Least cost dimensioning (Capacity Optimization):

! Dimension a least cost supply system that can reliably cover the electric load at any time



Backup: KW-Modellierung in REMix II

2 Conceptual approaches for future scenario capacity

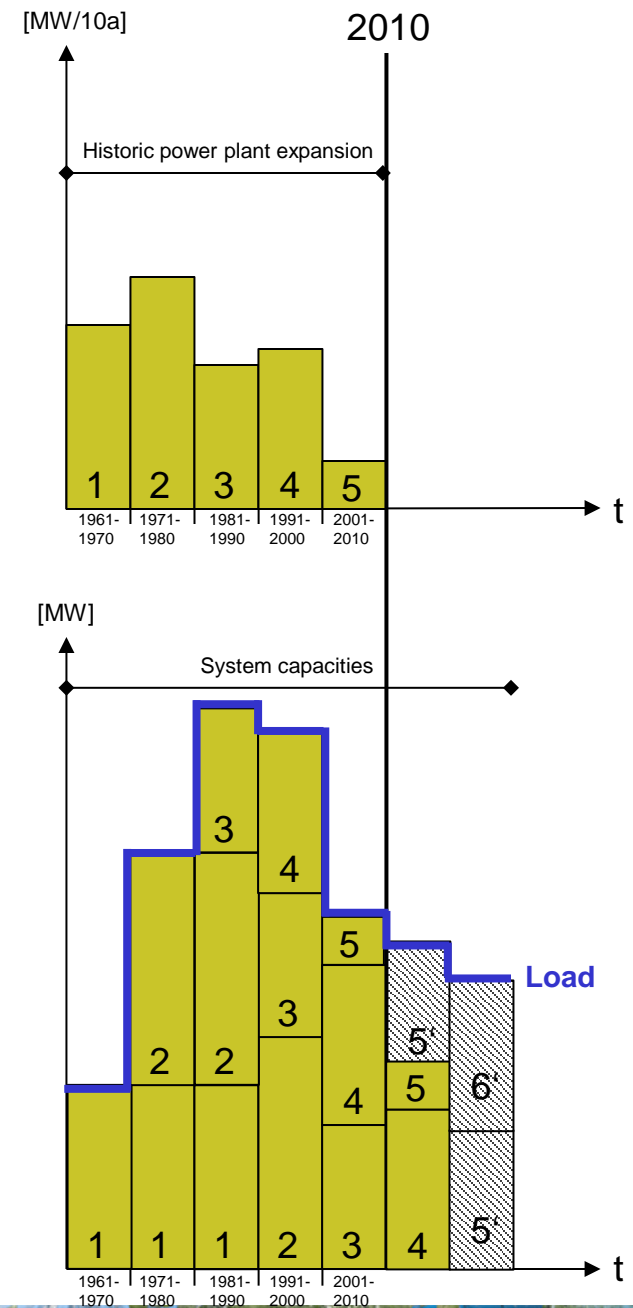
a) Scenario Validation (Dispatch Optimization):

! Test the reliability of the power supply on an hourly scale and find the least cost operation strategies.

b) Least cost dimensioning (Capacity Optimization):

! Dimension a least cost supply system that can reliably cover the electric load at any time

- The optimization would choose the least cost (conventional) technology which can cover the given load at any time step



Backup: KW-Modellierung in REMix III

- Conventional capacities are modelled to optimistic at the moment- underestimation of costs and overestimation of some technology parameters, e.g. efficiencies
- Input efficiencies always at full load, no ramping and ramping costs, no consideration of hot-, warm- and cold start
- Part load efficiencies in the simplified power plant model can be included implicit via the efficiency data, i.e. assuming at lower efficiency that the efficiency at max load
- Still this will include a considerable mistake

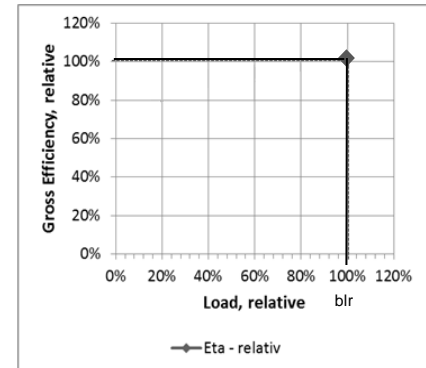
→ Necessity for more detailed modelling of conventional power plants!



Backup: KW-Modellierung in REMix IV

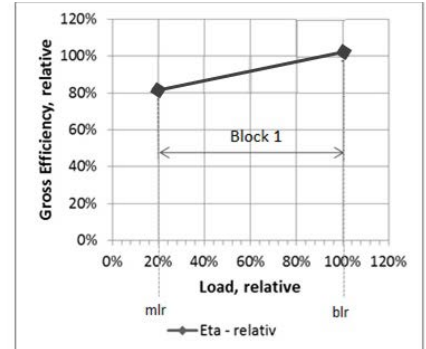
Option A. (basic)

- Static efficiency @ one point of the load: η (blr) = max. load
- This approach complies with the todays stage of development of the modelling of conventional power plants in REMix



Option B. (simplified)

- simplified part load efficiency @ 2 load points: minimal load = η (mlr), maximal load = η (blr)



Option C. (detailed)

- detailed part load efficiency @ 3 load points: min load = η (mlr), part load = η (mlr), max load = η (blr)
- within the advanced conventional module, all options are modular

